植物生理

遙感探測及輻射光譜層析與紅外線熱像技術之簡介

◎農試所農藝系　楊純明

遙感探測及對環境的探索與探討

以人為中心的定義，環境(Environment)是泛指孕育及影響人類生存、健康與生活在內的所有具有生命及無生命的空間和物質。具體的說，環境包括物理環境(physical environment)及生物(living things)兩大部份。知道了環境的定義和內涵，也就明白了為何要研究環境、瞭解環境、及保護環境的道理。農業的生產環境，則需要加上其他與農業生產有關的有形及無形的資材，還有這些資材與環境的交感，因此增加了空間與時間的複雜度與不安定度。就農作物生產而言，由於作物在生育過程中經常遭遇或發生各種生物性及非生物性的逆境，因此最大產量往往達不到其遺傳潛能。為了維持或延續適量（或一可接受量）的作物生產，確有必要採行任何可行方法與措施來調節作物生長狀況，並減少或降低逆境的負面效應。欲達到此一目的的首要工作，就是認識環境，探索與探討各項環境事件的原由始末。如此，才能利用因探索與探討環境事件所獲得的發現、經驗、及成果，來(1)預備與執行環境和自然資源的管理，(2)規劃與發展及調節與改善環境的未來計畫，及(3)預測人類難以控制的環境事件的變化與演進。那麼，如何去、怎麼去探索與探討呢?

探索與探討環境需要有方法，合適的方法。大別來說，有接觸式的方法(*in situ* sensing)與遙測式的方法(remote sensing)兩種。前者是將測定儀器設備置於被測物中（內），“接觸”到被測物，後者係間隔距離來檢（偵）測被測物。遙測或稱遙感探測，因為被測物與儀器設備之間存有空間，所以通常需要組成一遙感探測系統。將觀察到的資訊以物理方法，透過媒介與中央處理器（中心）連結，並多以自動化的型態傳達、收取。一般言，遙感探測方法累積的資料遠多於接觸方法，常需要藉助高效率的處理器材與分析工具，因此電腦是不可或缺的，適當的軟體是必備的。雖然遙測測值因環境的干擾有其先天上的限制，另具有資料量大、物理性而無化學性測定、資料解析度受限、及組件衰退等缺點，同時必需發展特定解析技術及資料展現型式以為配合，但是隨著硬體科技的進步及軟體的改良，今日的遙測準確性及精確已顯著提高。相對的，遙測系統具有若干傳統方法所沒有的優點，以

天氣的檢（偵）測為例至少有以下六點：(1)儀器設備勿須攜至被測介質中（內）即可測定，(2)遙測系統不影響被測參數原始狀況，(3)高度自動化特性，(4)可對大氣做二度乃至三度空間的掃描，(5)可檢（偵）測傳統測定方法難以捉摸或較精緻的參數並予直接輸出，及(6)在時空上具相當程度的解析度。由於完備的遙測系統多以電腦進行自動化作業，亦能夠持續地接收與整理所測定的資料，時效掌握頗佳。

遙感探測可以在三種不同的作業平臺操作，即地面觀測(ground observation platform)、飛行器般空觀測(airborne observati on platform)、及太空觀測(spaceborne observation platform)。後者包括衛星、太空梭及太空站等的觀測。不同的作業平臺各有其優缺點與限制，也各有其應用的範圍與價值。一般來說，地面遙感探測是航測及太空遙測的基本，建立起被測物的基本（礎）資料庫 。以幅射光譜層析為例而言，農作物的地面光譜資料庫建立之後，才能更為精確的判讀、解析航測及太空遙測收取的影像光譜。地面遙測可以在田間及實驗室進行，提供被測物基礎物理特性及被測物與儀器設備間交感的資料，同時亦能從事其他地面遙測試驗研究。常見的地面遙測研究有兩類，其一為實驗室內的物體反射及放射光譜的測定，其二為物體或環境事件在不同環境狀況下的光譜特徵曲線檢（偵）測。

現在遙感探測技術已被廣泛應用於許多產業的日常運轉，如農業、交通運輸業、土木營造業、公共事業（電力、瓦斯、自來水等）、化工業等經濟性活動，甚至於航空、醫學、軍事氣象等多樣化的層面。然而國內甚少應用遙感探測技術於農業生產系統，尤其是農作物的生產，亟待開發、利用。

遙測所觀察到的資料係以（1）電磁能(electromagnetic energy)，(2)聲（音）波(acoustic waves),及／或(3)力場(force fields)等物理方法連接與傳達，再經適當的資料轉換、整理與分析後呈現（或還原）被測物或環境事件的原貌。以電磁能傳遞遙測資訊是最常用的一種，快速、正確而勿須藉助傳導介質，更重要的是可以同時長距離傳遞大量的資料而不改變其本質。凡物體溫度高於絕對零度（-273℃)者，其能量即可以光輻射(即電磁能）的形式釋出或放射，故可稱為電磁能源(electromagnetic source)或輻射體(radiator).無論是自然的或人工的輻射體 ，其輻射的類別不外以下三種：(1)連續性波長的寬波段輻射，(2)連續波長的窄波段或單一波段的輻射，及(3)單一波長的輻射 (Bzrrett znd Curtis ,1982)。

科學家發現電磁能輻射（光輻射）具有一些重特徵（性），而發展出光波模式(the wave model)及光子模式(the particle model)來解釋 。簡單的說，光輻射以光波的形式直線前進，光速不變而波長(wavelength)與頻率(frequency)成反比；光輻射由帶有能量的光子束(quantum或photon)組成，光能與頻率成正比而與波長成反比。電磁能輻射光譜以波長或頻率而言都非常的寬廣 ，光能分佈差異亦甚大，端視能量（溫度）的高低而定 。人眼所能見到的僅僅一小部

份，稱為可見光(visible light)，所涵蓋的波長稱為可見光波段(visible spectrum)，約在0.4-0.7 μm之間，依人眼色譜可概別為紅(red)、橙(orange)、黃(yellow)、綠(green)、藍(blue)靛(indigo)、紫(violet)等七波段。

利用電磁能輻射（光輻射）的特性。科學家研發出四類獨特的檢（偵）測器(sensors)以分別感受可見光波段、紅外線波段、微波波段(microwave)、及雷射雷達波段(laser radar-active，從ultraviolet至near infrared)於遙感探測。並依波段的寬窄與數目，發展四種不同功能的檢（偵）測儀器設備：(1)連續性波長的寬波段(broad waveband)，(2)連續性波長的窄波段(narrow waveband)或單一波長，(3)雙波段(bispectra),及(4)多波段(multispectra)。因此，遙感探測技術可分為四大項：(1)航空照像(aerial photographic surveys)，(2)多色層光譜遙測(multispectral sensing)，(3)雷達遙測(radar sensing)，及(4)熱紅外線遙測(thermal infrared sensing)。其中，輻射光譜層析技術主要乃檢（偵）測電磁能輻射的紫外光、可見光及紅外線波段，紅外線熱像技術則係檢（偵）測熱紅外線波段。

輻射光譜層析與紅外線熱像技術

輻射體電磁能輻射的波長與輻射強度關係即為其光譜特徵，所描繪出的關係曲線稱為光譜特徵曲線或稱光譜指紋。如前述，任何溫度高於絕對零度的物體皆為輻射體，都具有光譜指紋。但是光譜指紋受到溫度及環境的影響，惟在特定的環境及固定的溫度下有其獨特的光譜指紋。利用此一性質，吾人可據以判斷、區分出輻射體的種類，亦可評估、分析輻射體的特性及遭受環境的影響。以輻射光譜層析儀(spetrora dio-meter)檢（偵）測輻射體釋放出的電磁能（光輻射），追蹤電磁能隨時空的變化，即可探索與探討輻射體在環境中的表現，研究輻射體與環境的關係。此輻射體若為農作物，那麼就能觀察農作物的生產表現。有機會及時採行因應調整措施與策略，預防、避免或降低逆境的危害。以紅外線熱像儀(infrared thermal imaging radiometer)檢（偵）測輻射體釋放出的熱紅外線波段，監視紅外線的改變與趨勢，可估測輻射體溫度變異。若為農作物，可觀察農作物的點、線、面的溫度變化，推測環境對農作物的影響。

（一）輻射光譜層析技術

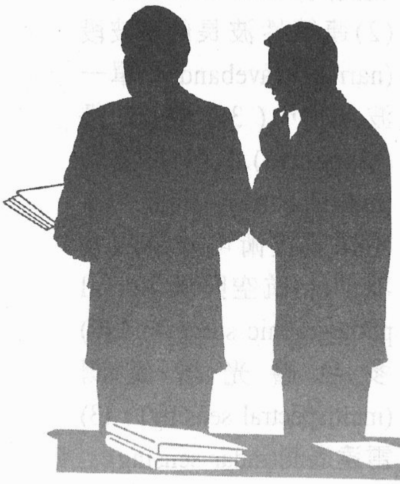
輻射光譜層析技術著眼於作物本身及作物覆蓋的反射光譜層析，以追蹤作物的生育、對逆境的反應、及因應的徵狀，從而瞭解作物整體的表現與逆境造成的效應。在地面遙測上，此一技術利用輻射光譜層析儀測定入射光之光譜特徵曲線（光譜指紋），分析入射光之不同波長（或波段）之光輻射強度，經配合預先建立之被測物光譜圖譜（或稱資料庫），以判斷、區分、及評估被測物之種類、性質及當時狀況。在農業生產上的應用極廣，如各種農業災害所造成農作物的損失估計（包括受災範圍與受害程度）；農業氣象上檢（偵）測農作物受到氣象環境的影響；作物逆境研究上檢（偵）測逆境種類、範圍與程度及農作物的反應；土壤學上區分農田種類及外在環境造成的改變等。由於環境與環

境物件隨時空而異，因此輻射光譜的測定宜在相類似的背景進行，以利比較、分析。以農作物而言，因作物隨著生育的進展，植株大小、顏色、株型、及幾何排列與分佈皆隨之改變，故建立作物全生育期的輻射光譜是必需的，以此作為基本資料庫（基礎圖譜）與判斷的基準。其次，作物對不同的逆境與不等的逆境程度反應不一，呈現的特徵波段或有不同，變化趨勢各異，倘能收集各種逆境下的光譜，應用的層面將更加擴大。

（二）紅外線熱像技術

紅外線熱像技術係利用紅外線熱像儀測定物件（如農作物）及環境影像之熱紅外線（如8-12 μm或3-5 μm）與其強度，運用影像轉換技術將此測得之紅外線以溫度影像呈現，以瞭解被測物件及環境之溫度高低與分佈（其中溫度係以所測得紅外線來計算），包括分析、估算、及預測被測物之體表溫度與未來溫度演變趨勢。測值再經比對正常狀況時被測物體表之溫度與分佈，便可瞭解被測物之異常程度與範圍。因此，凡具有溫度或作業過程中產生、消耗、或傳導熱(量）的系統，均適用紅外線熱像技術予測溫。高性能的紅外線熱像系統的設計採用以下特點：(1)具有高速掃描的功能，(2)具有高空間解析度 ，(3)具有準確的溫度測值，(4)具有清晰、一致的影像顯示，(5)能在各種環境下進行溫度測定，(6)屬於非破壞性檢（偵），及(7)多用途之應用功能 。

由於紅外線熱像技術具有監視辨識、遙控偵測、及非破壞檢測等功能，如前述已被廣泛應用於如光化學物理、工程、電子、機械、醫學、軍事及農學等研究領域及工業系統。在農學或農業生產系統上，無論是乾旱造成植株溫度的改變、病蟲害感染作物植株後引發的組織色變與溫度升降、植物生理的熱傳導、或是某種逆境狀況引起作物族群的大規模溫度變異，均可以紅外線熱像技術進行探討、研究。然仍由於作物隨著生育的進展，生理及形態殊異，亦須建立多樣的熱像資料庫作為定性與定量的比較。

結語

誠然地，包括輻射光譜層析及紅外線熱像在內的遙感探測技術有其諸多的優點與應用，畢竟生物是複雜的、環境是渾沌的，宇宙的奧妙及大自然的神奇仍然是人們所“無能”完全理解的，當然也“無法”百分之百精確與準確的瞭解環境事件和環境。人生活在環境中，環境與環環事件的探索與探討是必需的，而遙感探測技術提供了工具的選擇。（參考文獻：Barrett, E. C. and L. F. Curtis. 1982. Introduction to Environmental Remote Sensing. 2nd ed., Chapman and Hall, London. 352p).